Aus dem II. Anatomischen Institut der Freien Universität Berlin

Direktor: Professor Dr. med. Willy Schwarz

RÖNTGENOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN DER ZAHNENTWICKLUNG BEI DER RATTE

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
an der ehem. Medizinischen Fakultät
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Annebarb Baldus-Weddige geb. Weddige
aus Dinslaken

1970

Aus dem II. Anatomischen Institut der Freien Universität Berlin

Direktor: Professor Dr. med. Willy Schwarz

RÖNTGENOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN DER ZAHNENTWICKLUNG BEI DER RATTE

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
an der ehem. Medizinischen Fakultät
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Annebarb Baldus-Weddige geb. Weddige
aus Dinslaken

Ehem. Dekan: Professor Dr. med. Herbert Lax

Referent: Professor Dr. med. Hans Joachim Merker

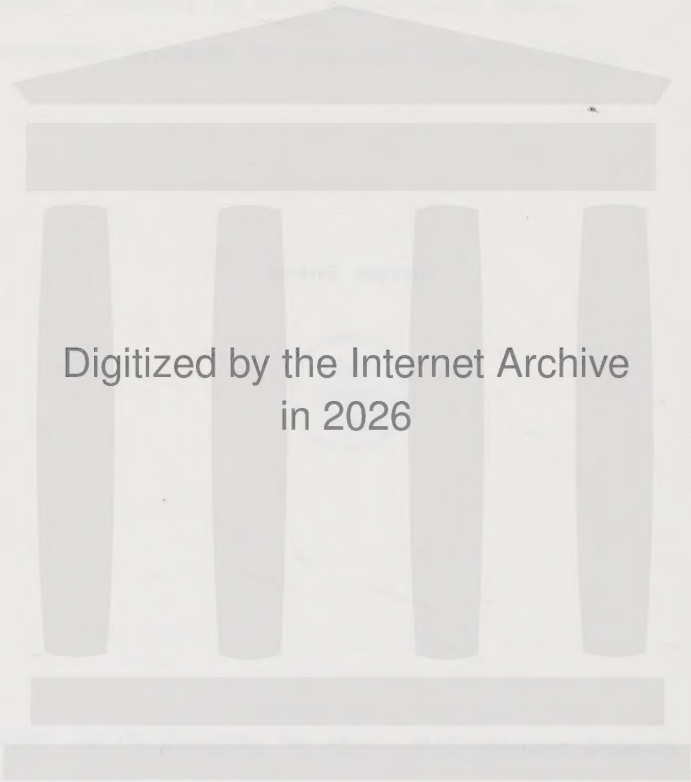
Korreferent: Professor Dr. med. dent Christian Schulze

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Gedruckt mit Genehmigung der ehem. Medizinischen Fakultät
der Freien Universität Berlin

Promoviert am 27. 10. 1970

Meinen Eltern


Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546510_0084

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
Material und Methode	6
Befunde	8
Diskussion	38
Zusammenfassung	44
Literatur	46
Bildanhang	

EINLEITUNG

Über die Zahnentwicklung bei den verschiedenen Säugetierarten bestehen bereits gesicherte morphologische und zeitliche Vorstellungen (LECHE 1892; EIDMANN 1923; ORBAN 1927, 1928 und 1929; MEYER 1938, 1951 und 1958; KEIBEL 1937; MELLANBY 1939; MUGNIER 1964; GLASSTONE 1963; PLACKOWA 1963; BALDUS 1969). Über Störungen der Zahnentwicklung liegen jedoch vergleichsweise wenige Arbeiten vor. Vernachlässigt wurden besonders die Entstehungsweise und die Ursachen dieser Störungen. Das sichtbare Endprodukt einer Beeinflussung der Zahnentwicklung sagt über die vorhergehenden Mechanismen nichts Sicheres aus. Dazu sind genauere morphologische Untersuchungen notwendig, wenn möglich während der eigentlichen kritischen Zeit. Derartige Untersuchungen sind aber verständlicherweise an menschlichem Material nicht durchzuführen. Der teratologisch interessierte Untersucher ist deshalb gezwungen, auf Versuchstiere auszuweichen. Hier steht er vor verschiedenen Schwierigkeiten, die nicht zuletzt durch eine deutlich abweichend verlaufende Zahnentwicklung bedingt ist.

In der eigenen Arbeitsgruppe und auch in der pharma-

zeutischen Industrie werden bevorzugt Ratten für teratologische Experimente herangezogen. Die Ratte stellt einen Sonderfall der Zahnentwicklung dar, da erstens die Incisivi während des Lebens ständig wachsen und zweitens das neugeborene Tier ein extremer Nesthocker ist (STARCK 1965). Bei der Geburt ist die Zahnentwicklung deshalb nur sehr wenig weit fortgeschritten. Der normale zeitliche Ablauf dieser Vorgänge bei der Ratte läßt sich aufgrund der Untersuchungen von ZIMNY (1970) und anderer Autoren (DONALDSON 1924; KEIBEL 1937; MELLANBY 1939; HOFFMAN und SCHOUR 1940; FARRIES und GRIFFITH 1949; HAGEMANN 1960; KÖNIG 1966; BALDUS 1969) etwa folgendermaßen charakterisieren:

Bei etwa 15 Tage alten Rattenembryonen senkt sich aus der primären Mundhöhle ein zweischichtiges Epithel in das darunterliegende Bindegewebe ein. Mit 16 Tagen streckt sich dieser Epithelwulst etwa auf das Doppelte bis Dreifache der ursprünglichen Länge, ohne aber an Breite zuzunehmen. Außerdem prägt sich eine leicht keulenförmige Auftreibung im unteren Drittel der Epitheleinsenkung aus. Mit 17 Tagen erfolgt eine Breitenzunahme; im unteren Bereich der Zahnanlage stülpt sich das Epithel ein, man spricht von der "Kappenform" der Zahnanlage. Mit 18 Tagen hat sich die

Kappenform weiter verbreitert, so daß eine Glockenform zu erkennen ist. Hier kann bereits ein äußeres und inneres Schmelzepithel, eine Schmelzpulpa und das von dem inneren Schmelzepithel eingeschlossene Mesenchym, die spätere Zahnpulpa, unterschieden werden. Durch Streckung und Krümmung der Zahnanlage wird am 19. Tag die spätere Form des Zahnes deutlich erkennbar. Im vordersten Teil der Incisivuspulpa ist der allererste Beginn von Hartsubstanzbildung zu finden, der deutlich am 20. Tag hervortritt. Am Tag 21 erstreckt sich die Hartsubstanzbildung über die ganze Zahnspitze und reicht in einer immer dünner werdenden Schicht bis zum Schmelzorgan.

Da die Ratten unseres Stammes eine Trächtigkeitsdauer von 21 Tagen haben, geht die eigentliche Hartsubstanzbildung also zum überwiegenden Teil erst nach der Geburt vor sich. Das bedingt gewisse technische und präparative Probleme, da zu diesem Zeitpunkt der Kiefer bereits weitgehend verkalkt ist. Für die Testung und Beurteilung teratogener Experimente ist aber die Aufbereitung vieler histologischer Serienschnitte notwendig. Derartige Schnittserien können jedoch nur nach Entkalkung hergestellt werden. Die histologische Bearbeitung dieses Materials wird noch schwieriger, wenn die Zähne selbst Kalk einlagern. Diese techni-

schen Schwierigkeiten und zeitlichen Besonderheiten sind nicht zuletzt der Grund für unsere geringe Kenntnis auf dem Gebiet der Zahnentwicklungsstörungen bei der Ratte.

Wir suchten deshalb nach einer Methode, die es erlaubt, unter Umgehung dieser Schwierigkeiten die Zahnentwicklung routinemäßig und schnell zu erfassen. Hier bot sich die röntgenologische Darstellung der Zahnhartsubstanz an. Mit dieser Technik sind nicht nur Anomalien der Lage, Größe und Zahl darzustellen, sondern es gelingt vielleicht auch, das Zahnwachstum quantitativ zu erfassen.

Entsprechende Untersuchungen an Tieren und Menschen sind vereinzelt bereits beschrieben (APPLEBAUM et al. 1933; BURR et al. 1938; SCHOUR und HOFFMAN 1940; SPENCE 1940; McCALL und WALD 1954; KIRSCH 1955; MANNKOPF 1957; DECKER 1963). Diese Arbeiten zeigen, daß eine Verwendung der Röntgentechnik für diese Fragestellung durchaus geeignet ist. Von der Ratte sind jedoch solche Röntgenuntersuchungen in sehr frühen Stadien der Entwicklung nur sehr lückenhaft gemacht worden. Wir versuchten deshalb, diese Lücke zu füllen und eine tägliche Reihe der Zahnentwicklung bei der Ratte mit röntgenologischen Methoden aufzustellen. Darüber hinaus sollte dabei festgestellt werden,

zu welchem möglichst frühen Zeitpunkt die Zahnentwicklung im Röntgengerät zum ersten Mal sicher zu beurteilen ist. Für diesen Zeitpunkt sollten dann möglichst viele Tiere untersucht werden, um einen statistisch gesicherten Durchschnittswert zu erhalten. Dieser Wert kann dann als Vergleichswert bei experimentellen Störungen der Zahnentwicklung verwendet werden.

MATERIAL UND METHODE

Das Tiermaterial entstammt einem eigenen Inzuchtstamm, der aus einem Wistar-Stamm (FW 68) gezüchtet wurde. Als Tag 0 gilt der Geburtstag. Die Tiere wurden in temperatur- und feuchtigkeitsgeregelten Räumen gehalten. Die Muttertiere wurden mit Altromin-Standardfutter ernährt.

Tiere der Tage 1 - 21 wurden durch Dekapitation getötet und die Köpfe anschließend in 6%igem Formalin fixiert. Am nächsten Tag erfolgte die Präparation des Unterkiefers für die röntgenologische Darstellung.

Alle Röntgenaufnahmen wurden mit einer Siemens-Pantix-Ölröhre Typ P 125/30/50 mit Gesamtvorfilter 2 mm Al bei einem Film-Fokus-Abstand von 50 cm gemacht. Wir benutzten hochempfindliche folienlose Zahnfilme.
Die Präparate wurden dem Film direkt aufgelegt, die extraorale Seite filmnahe. Damit wurde eine annähernd originalgroße Abzeichnung auf den Filmen erreicht.
Wir arbeiteten mit einer niedrigen Spannung von 35 kV bei einer Stromstärke von 100 mA. Es wurde eine Belichtungszeit von 0,02 s gewählt, um bei den feinen Präparaten eine möglichst kontrastreiche Darstellung zu erlangen.

Zur Auswertung wurden die Aufnahmen auf positiven Papierabzügen viermal nachvergrößert.

Da die Incisivi im distalen Bereich von den Molaren überlagert sind und somit nicht genau bis zum Ende zu verfolgen sind, wurde als Meßpunkt eine Verbindungslinie an den mesialen Kanten der ersten Molaren gezogen. An dieser Linie wurde die Breite der Incisivi und die Länge von der Zahnmitte an dieser Hilfslinie bis zum rostralen Ende der Incisivi gemessen. Die mit einem Stechzirkel abgetasteten Werte wurden direkt auf Millimeterpapier übertragen. Darüber hinaus wurden noch der buccale Abstand der Incisivi und der Abstand der mesialen Kanten der ersten Molaren gemessen.

Es zeigte sich an der aufsteigenden Untersuchungsreihe, daß bei 15 Tage alten Tieren eine kontrastreiche Darstellung und somit eine gute Auswertung möglich ist. Für die Errechnung von Durchschnittswerten wurden deshalb 15 Tage alte Tiere herangezogen.

Darstellung der Meßlinien
am Beispiel des Tages 15

BEFUNDE

Tag 1

Die Knochenkrypten für die Incisivi und für den ersten und den zweiten Molaren sind als schattenhafte Umrisse zu erkennen. Zahnhartsubstanz kann auch bei den Incisivi noch nicht deutlich von dem umgebenden Knochen unterschieden werden. Der Zahnkeim der Incisivi erstreckt sich nach dorsal und ist lingual der Anlage des ersten Molaren zu verfolgen. Das distale Ende liegt etwa in Höhe des ersten Molaren, kann aber, da die Wand des Zahnkeimes distal immer dünner wird, nicht mit Sicherheit bis zum Ende verfolgt werden.

Tag 2

Im Bereich der Molaren sind keine Veränderungen festzustellen. Die Zahnhartsubstanzablagerung auf den Spitzen der Incisivi ist soweit fortgeschritten, daß sich die Spitze fein gegen den umliegenden Knochen abzuzeichnen beginnt. Ihre Zahnanlage kann man wieder lingual der Molarenanlage erkennen.

Tag 3

An der Spitze der Incisivi ist die Hartsubstanzablagerung

fortgeschritten. Sie hat etwa eine Länge von 2 - 3 mm. Im Bereich der ersten Molaren sind die ersten Verkalkungszentren zu erahnen.

Tag 4

Die Aufnahmen werden langsam kontrastreicher, eine Folge der allgemeinen Zunahme an Hartsubstanzablagerungen. Die Keime der Incisivi sind nun etwa bis zum ersten Molaren vom umgebenden Knochen zu unterscheiden. Der Zahnkeim liegt lingual vom ersten Molaren. Weiterhin kann das distale Ende nicht ausgemacht werden. Bei den ersten Molaren sind jetzt die einzelnen Höckerspitzen als Verkalkungszentren deutlicher zu erkennen. Der zweite Molar zeigt noch keine Hartsubstanzablagerung.

Tag 5

Der Schädel hat allgemein an Größe zugenommen. Die Incisivi zeichnen sich stärker ab. Dorsal vom ersten Molaren beginnt sehr fein an den Höckerspitzen die Hartsubstanzablagerung der zweiten Molaren sichtbar zu werden.

Tag 6

Wieder zeigt sich nur eine leichte Verkalkungszunahme. Die Incisivi haben sich soweit verlängert, daß bei dem verwendeten Strahlengang die mediale Spitze den Mandibular-

knochen beinahe überragt. Nach dorsal ist die Hartsubstanzablagerung soweit fortgeschritten, daß man den Zahnkeim bis zum zweiten Molaren verfolgen kann; er liegt lingual des Molarenkeimes. Vom ersten und zweiten Molaren sind die Höckerspitzen besser zu erkennen.

Tag 7

Die Incisivi haben sich weiter verlängert. Sie überragen nun etwas den Alveolarknochen. Bei den Molaren ist nur eine geringe Zunahme des Kontrastes festzustellen.

Tag 8

Bei den Incisivi ist ein weiteres Längenwachstum nach dorsal und ventral und ein appositionelles Wachstum zu sehen. Die Höckerspitzen der ersten Molaren haben sich soweit vergrößert, daß sie zu einer Kaufläche verschmolzen sind. Beim zweiten Molaren sind die Verkalkungszentren noch einzeln zu erkennen.

Tag 9

Der Befund entspricht dem des vorhergehenden Tages weitgehend. Eine leichte Längenzunahme der Incisivi und ebenso eine geringe Verdeutlichung der Kontraste ist auszumachen.

Tag 10

Die Incisivi sind jetzt bis zum distalen Ende der zweiten Molaren zu verfolgen; weiterhin sind sie lingual gelegen. Der erste Molar zeigt nur eine Verschärfung des Kontrastes. Beim zweiten Molar sind die Verkalkungszentren nun zur Kaufläche verschmolzen. Als erstes Anzeichen des dritten Molaren ist dorsal des zweiten Molaren eine feine Aufhellung im Knochen zu bemerken.

Tag 11

Ventral haben die Incisivi den Weichteilschatten fast erreicht. Bei den Molaren ist die Kronenbildung fortgeschritten. Beim ersten Molaren scheint die Kronenform beinahe vollständig zu sein.

Tag 12

Bei allen Zähnen ist ein fortschreitendes appositionelles Wachstum zu beobachten.

Tag 13

Deutliche Veränderungen zeigen sich nicht. Die Strukturen geben immer reichere Kontraste.

Tag 14

Die Incisivi haben weiter an Länge und Dicke zugenommen. Die Krone des zweiten Molaren scheint jetzt auch voll aus-

gebildet zu sein. Beide Molaren grenzen sich genau vom umgebenden Knochen ab. Vom dritten Molaren ist nur die Aufhellung distal des zweiten Molaren zu sehen.

Tag 15

Die Incisivi sind lingual der Molaren gut zu verfolgen. Das genaue distale Ende kann weiterhin nicht ausgemacht werden. Die Aufnahmen sind jetzt klar und kontrastreich. Knochen und Zahnhartsubstanz können sehr sicher voneinander unterschieden werden.

Tag 16

Ein appositionelles Wachstum ist an allen Zähnen zu beobachten. Die Aufhellung distal des zweiten Molaren wird etwas besser erkennbar.

Tag 17

Es sind keine großen Veränderungen festzustellen. Durch das appositionelle Wachstum wird das Pulpencavum der Incisivi - im Bereich der Zahnspitze besonders deutlich - eingeengt. Im dorsalen Bereich ist das Cavum weit. Das dorsale Ende des Zahnes kann auch jetzt nicht mit Sicherheit bestimmt werden.

Tag 18

Die Krypte des dritten Molaren ist größer und deutlicher.

Tag 19

Die ersten sehr zarten Verkalkungszentren des dritten Molaren sind schwach zu erkennen. Das Wachstum der übrigen Zähne ist weiter fortgeschritten.

Tag 20

Die Incisivi können jetzt nach distal bis zum Keim des dritten Molaren verfolgt werden, ohne daß das Ende genau zu bestimmen wäre.

Tag 21

Die Hartsubstanzablagerung dauert weiter an. Die Höckerspitzen des dritten Molaren sind nun abgezeichnet. Von allen anderen Zähnen sind deutliche und kontrastreiche Aufnahmen entstanden. Die Incisivi überragen die Weichteilabzeichnung. Ihr dorsales Ende ist nicht sicher festzulegen. Von den ersten und zweiten Molaren sind die Kronen klar abgezeichnet und die Höckerspitzen gut zu erkennen.

Bei der kurvenmäßigen Auftragung der gemessenen Dickenwerte der einzelnen Incisivi ergibt sich ein überraschender Befund. Die Breitenwerte, gemessen an der mesialen Kante der ersten Molaren, nehmen nicht deutlich zu. Sie bewegen sich zwischen den Werten 2,8 - 4,0 mm. Dagegen ist das Längenwachstum - bezogen auf die Meßpunkte an der me-

sialen Kante des ersten Molaren - deutlich meßbar. Wenn auch die geringe Zahl der untersuchten Unterkiefer keine weitgehende statistische Analyse erlaubt, läßt doch der Kurvenverlauf den aufsteigenden Trend deutlich hervortreten. Hier beginnen die Werte mit Längen von 14 mm und erreichen am Tag 21 einen Wert von 30 mm. Als weitere Meßwerte zur Beurteilung des Wachstums im Bereich des Unterkiefers wurde der buccale Abstand der Incisivi und der Abstand der mesialen Kanten der ersten Molaren bestimmt. Dabei ergab sich, daß kein signifikantes Breitenwachstum stattgefunden hat.

Da das Röntgenbild um den Tag 15 herum zum ersten Mal besonders deutlich die Verhältnisse zeichnet, wird dieser Zeitpunkt als Bezugspunkt bestimmt. An diesem Tag sind 40 Unterkiefer untersucht worden. Dadurch gelingt bereits eine annähernd statistische Erfassung der quantitativen Verhältnisse.

Tabelle I:

Länge der Incisivi (in mm)

Tag	Präparat 1		Präparat 2	
	rechts	links	rechts	links
1	13,4	12,8	14,2	14,8
2	14,6	14,0	17,5	16,2
3	13,9	14,9	13,4	13,9
4	16,7	16,2	15,8	15,7
5	16,0	16,1	17,7	15,9
6	16,8	17,1	17,0	17,0
7	16,9	17,0	16,7	16,6
8	19,8	19,9	21,0	21,8
9	22,2	22,8	21,5	22,1
10	24,0	23,6	23,8	23,3
11	24,7	25,0	23,1	23,5
12	24,5	23,2	20,9	19,8
13	21,5	22,9	21,2	20,4
14	25,2	26,4	26,8	26,7
15	26,0	26,8	24,7	24,9
16	28,4	27,5	29,5	28,5
17	27,6	28,0	27,4	27,1
18	27,2	27,4	26,4	26,7
19	26,5	26,3	27,2	27,8
20	28,8	24,5	29,3	26,0
21	29,8	30,0	28,1	29,7

Tabelle II:

Breite der Incisivi (in mm)

Tag	Präparat 1		Präparat 2	
	rechts	links	rechts	links
1	3,6	4,2	3,8	3,4
2	4,3	3,8	3,4	3,2
3	4,0	4,1	3,7	4,0
4	2,8	3,8	2,9	3,0
5	3,7	3,2	3,1	3,0
6	2,8	3,1	4,0	3,7
7	3,5	3,4	3,2	3,6
8	3,4	3,1	3,0	3,1
9	3,3	3,2	3,2	3,1
10	2,9	3,4	3,0	3,1
11	3,4	3,2	3,5	3,2
12	3,1	3,1	3,2	3,3
13	3,4	3,3	3,3	3,2
14	3,6	3,2	3,5	3,4
15	3,3	3,1	3,5	3,2
16	3,5	3,2	3,7	3,8
17	3,6	3,7	3,2	3,7
18	3,7	3,0	3,8	3,0
19	3,1	3,4	4,0	3,4
20	3,3	3,4	3,0	3,6
21	4,0	3,5	4,0	3,7

Tabelle III:

Abstand der buccalen Kanten der Incisivi (in mm)

Tag	Präparat 1	Präparat 2
1	14,0	14,4
2	15,0	16,0
3	16,0	15,8
4	15,1	14,3
5	15,0	16,5
6	14,0	15,0
7	16,4	16,0
8	14,4	16,0
9	15,5	15,1
10	15,2	15,3
11	16,2	16,0
12	15,0	16,5
13	15,8	15,2
14	15,5	16,8
15	17,6	16,1
16	16,1	17,0
17	14,8	15,4
18	16,9	14,8
19	14,9	16,0
20	16,5	15,8
21	16,1	16,0

Tabelle IV:

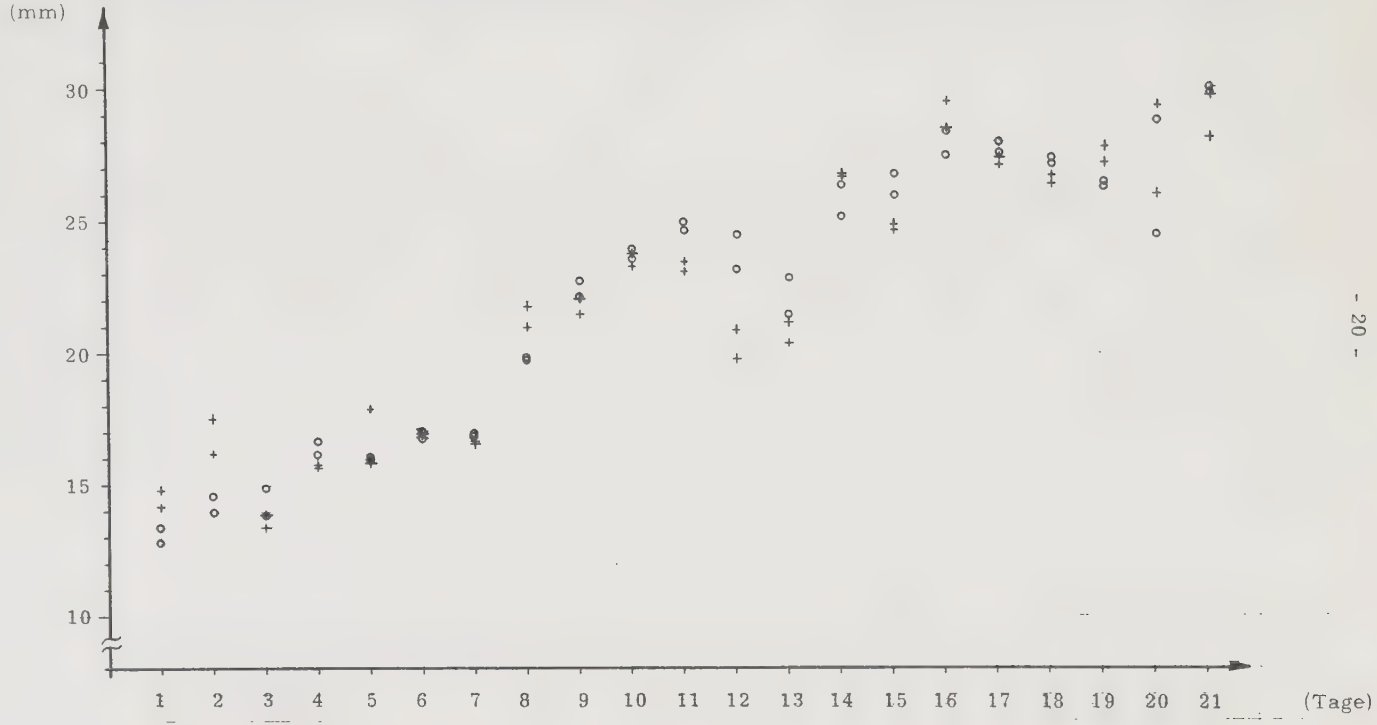
Abstand der mesialen Kanten der ersten Molaren (in mm)

Tag	Präparat 1	Präparat 2
1	16,5	13,0
2	15,0	17,5
3	16,0	16,4
4	21,2	21,5
5	19,0	18,1
6	15,8	17,0
7	18,6	18,0
8	20,0	20,2
9	19,4	20,8
10	20,4	21,3
11	22,2	22,4
12	19,9	20,0
13	20,0	22,0
14	22,0	26,0
15	23,1	23,0
16	21,0	23,1
17	24,1	24,2
18	21,2	21,0
19	22,8	24,7
20	22,0	20,0
21	22,4	24,2

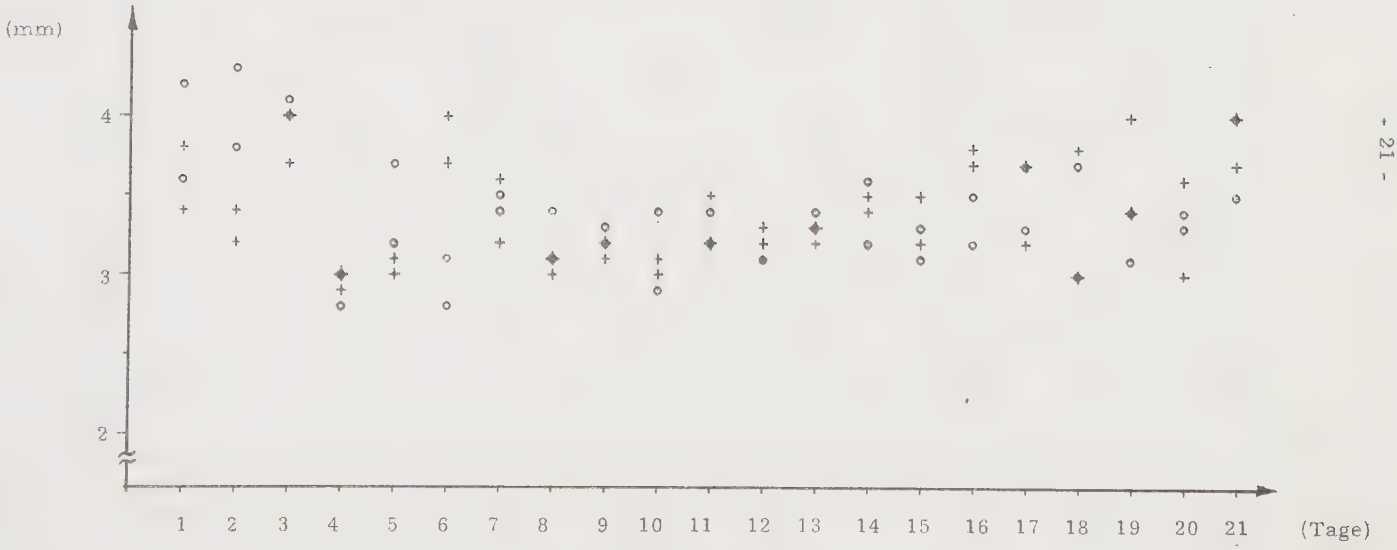
Graphische Darstellungen der Meßergebnisse

- ∘ Präparat 1
- \+ Präparat 2
- • zwei Werte von Präparat 1 fallen zusammen
- ✱ zwei Werte von Präparat 2 fallen zusammen

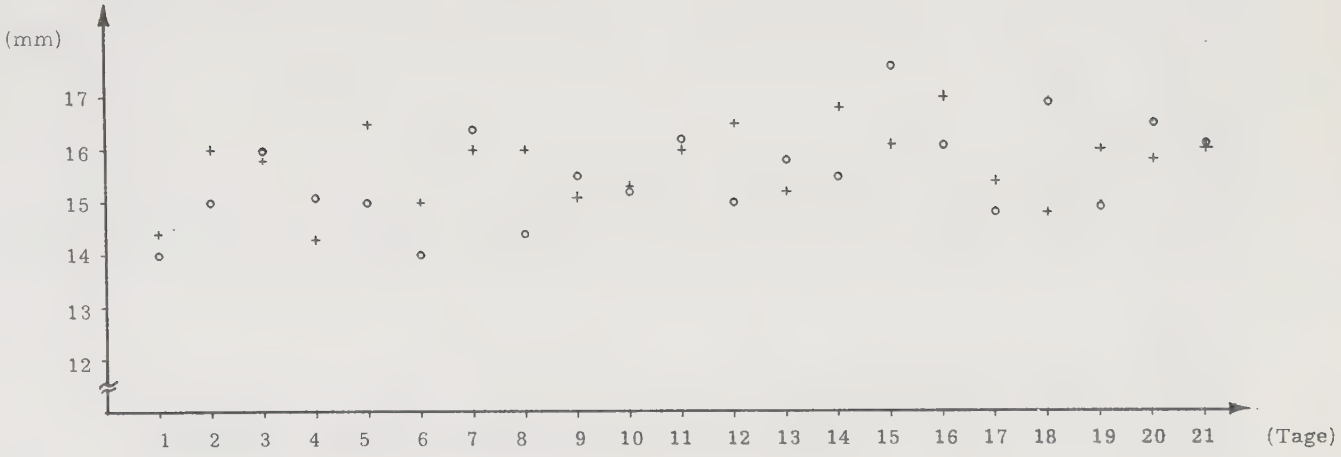
zu Tabelle I: Länge der Incisivi



zu Tabelle II: Breite der Incisivi



zu Tabelle III: Abstand der buccalen Kanten der Incisivi



zu Tabelle IV: Abstand der mesialen Kanten der ersten Molaren

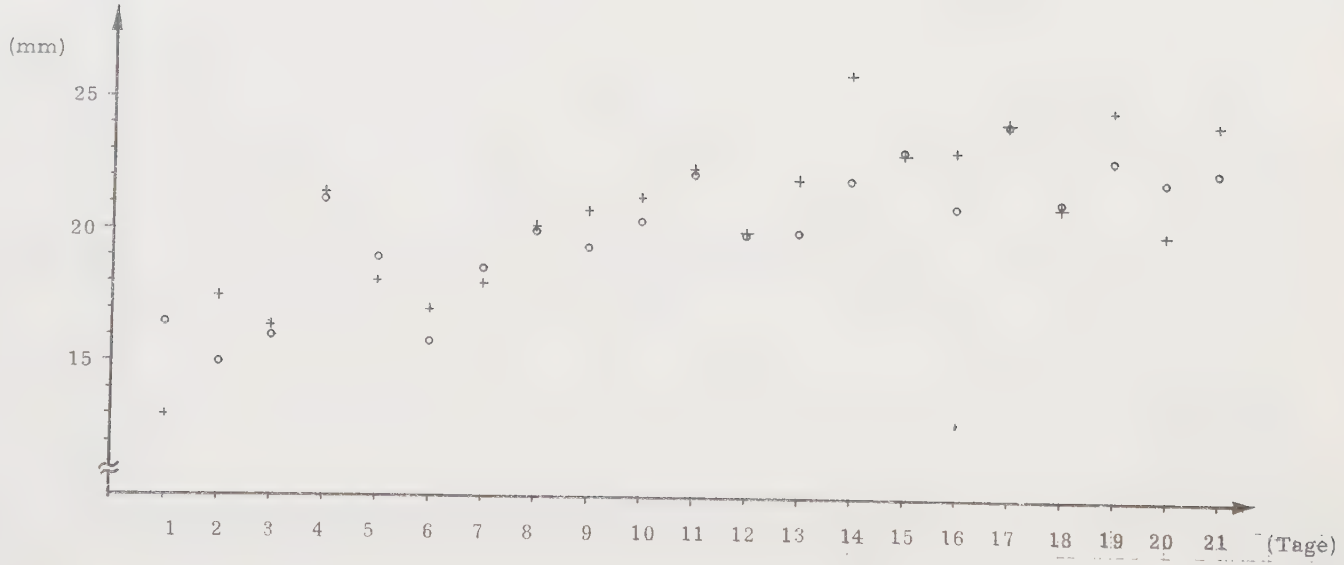


Tabelle V:

40 Präparate von Tag 15: Länge der Incisivi (in mm)

lfd. Nr.	rechts	links
1	29,0	29,5
2	28,1	26,8
3	27,9	27,7
4	29,8	30,3
5	30,0	30,4
6	29,0	27,8
7	30,1	29,9
8	27,0	27,5
9	30,0	29,4
10	31,0	31,9
11	30,3	30,1
12	30,2	30,0
13	30,9	31,0
14	30,4	30,8
15	30,9	31,2
16	26,8	25,7
17	27,1	27,5
18	26,2	26,9
19	27,3	27,9
20	28,9	29,8
21	30,2	29,8
22	28,3	30,0
23	27,6	27,4

lfd. Nr.	rechts	links
24	29,2	30,0
25	28,1	29,6
26	29,9	28,4
27	30,3	30,2
28	31,4	28,3
29	30,8	29,4
30	31,5	31,2
31	32,0	31,2
32	31,1	31,2
33	29,8	30,4
34	33,0	32,2
35	31,9	31,7
36	31,0	32,1
37	31,1	31,4
38	32,3	33,5
39	31,4	31,6
40	31,2	32,0

Tabelle VI:

40 Präparate von Tag 15: Breite der Incisivi (in mm)

lfd. Nr.	rechts	links
1	3,9	3,8
2	3,7	4,0
3	4,0	3,9
4	3,8	3,7
5	3,8	3,8
6	3,7	3,8
7	3,9	3,9
8	3,9	4,1
9	3,7	3,9
10	4,0	4,1
11	3,9	3,9
12	3,8	3,8
13	3,9	4,1
14	3,9	4,0
15	4,2	3,9
16	3,3	3,6
17	3,7	3,9
18	3,4	3,6
19	3,3	3,4
20	3,9	3,6
21	3,5	3,8
22	3,5	3,5
23	3,2	3,4

lfd. Nr.	rechts	links
24	3,5	3,7
25	3,7	3,8
26	3,6	3,8
27	3,9	3,7
28	3,8	3,9
29	4,0	4,0
30	3,9	3,7
31	3,7	4,0
32	3,9	3,6
33	4,0	3,9
34	3,9	4,1
35	4,0	4,0
36	3,7	3,6
37	4,0	4,0
38	4,1	3,9
39	3,8	4,1
40	4,0	4,2

Tabelle VII:

40 Präparate von Tag 15: Abstand der buccalen Kanten der Incisivi (in mm)

lfd. Nr.		lfd. Nr.	
1	17,8	23	18,2
2	18,2	24	19,2
3	19,0	25	18,6
4	17,2	26	19,4
5	17,4	27	19,8
6	19,3	28	20,4
7	18,8	29	20,3
8	22,1	30	19,9
9	19,5	31	22,3
10	19,3	32	21,3
11	19,9	33	21,0
12	18,4	34	21,7
13	19,1	35	20,9
14	19,0	36	20,2
15	18,5	37	21,1
16	20,0	38	19,1
17	18,8	39	21,1
18	17,6	40	21,6
19	18,4		
20	18,8		
21	18,0		
22	19,3		

Tabelle VIII:

40 Präparate von Tag 15: Abstand der mesialen Kanten der ersten Molaren (in mm)

lfd. Nr.		lfd. Nr.	
1	22,9	23	22,9
2	23,1	24	23,4
3	24,0	25	22,2
4	22,6	26	22,9
5	23,0	27	24,2
6	24,4	28	24,1
7	25,0	29	23,4
8	25,0	30	23,1
9	22,9	31	25,3
10	22,8	32	25,4
11	23,1	33	24,8
12	22,1	34	26,0
13	22,5	35	25,0
14	22,0	36	22,1
15	22,3	37	23,8
16	24,4	38	23,9
17	23,3	39	24,6
18	21,8	40	25,8
19	22,4		
20	22,3		
21	22,0		
22	23,2		

Berechnung von Mittelwert und Standardabweichung der Meßergebnisse der Untersuchungen von Tag 15

Formeln nach Johann Pfanzagl, Allgemeine Methodenlehre der Statistik, Bd. I, S. 224 ff:

$\bar{a}$ = Mittelwert
s^2 = Varianz
s = Standardabweichung
b = Gruppenbreite
c = Gruppenmitte der gewählten Nullgruppe
n_i = Anzahl der Werte je Gruppe
i = Hilfsgröße, laufend nummeriert von einer gewählten Nullgruppe: aufwärts (+), abwärts (-)

Hilfsgrößen zur Berechnung:

$$S_1 = \sum_{i=1}^{n} n_i \cdot i$$

$$S_2 = \sum_{i=1}^{n} n_i \cdot i^2$$

damit ist:

$$\bar{a} = b/n \cdot S_1 + c$$

$$s^2 = b^2/n - 1 \cdot (S_2 - 1/n \cdot S_1^2)$$

zu Tabelle V:

Länge der Incisivi

Gruppengrenze von bis unter	i	n_i	$n_i \cdot i$	$n_i \cdot i^2$
25 - 26	-5	1	- 5	25
26 - 27	-4	4	-16	64
27 - 28	-3	11	-33	99
28 - 29	-2	6	-12	24
29 - 30	-1	13	-13	13
30 - 31	0	20	0	0
31 - 32	+1	18	18	18
32 - 33	+2	5	10	20
33 - 34	+3	2	6	18
		n = 80	S_1 = -55	S_2 = 281

b = 1 mm

c = 30,5 mm

$\bar{a}$ = 29,81 mm

s^2 = 3,08 mm^2

s = 1,755 mm

zu Tabelle VI:

Breite der Incisivi

Ausprägung	i	n_i	$n_i \cdot i$	$n_i \cdot i^2$
3,2	-7	1	- 7	49
3,3	-6	2	-12	72
3,4	-5	3	-15	75
3,5	-4	4	-16	64
3,6	-3	6	-18	54
3,7	-2	11	-22	44
3,8	-1	12	-12	12
3,9	0	20	0	0
4,0	+1	13	13	13
4,1	+2	6	12	24
4,2	+3	2	6	18
		n = 80	S_1 = -71	S_2 = 425

Durch die auf 0,1 mm begrenzte Genauigkeit der Messung wird aus einer Gruppe eine diskrete Ausprägung. Die Rechnung erfolgt jedoch nach dem selben Verfahren.

b = o,1 mm
c = 3,95 mm
$\bar{a}$ = 3,86 mm
s^2 = 0,0458 mm^2
s = 0,214 mm

zu Tabelle VII:

Abstand der buccalen Kanten der Incisivi

Gruppengrenze von bis unter	i	n_i	$n_i \cdot i$	$n_i \cdot i^2$
17 - 18	-2	4	- 8	16
18 - 19	-1	10	-10	10
19 - 20	0	13	0	0
20 - 21	+1	5	5	5
21 - 22	+2	6	12	24
22 - 23	+3	2	6	18
		n = 40	S_1 = + 5	S_2 = 73

b = 1 mm

c = 19,5 mm

$\bar{a}$ = 19,63 mm

s^2 = 1,856 mm^2

s = 1,362 mm

zu Tabelle VIII:

Abstand der mesialen Kanten der ersten Molaren

Gruppengrenze von bis unter	i	n_i	$n_i \cdot i$	$n_i \cdot i^2$
21 - 22	-2	1	- 2	4
22 - 23	-1	15	-15	15
23 - 24	0	10	0	0
24 - 25	+1	7	7	7
25 - 26	+2	6	12	24
26 - 27	+3	1	3	9

$n = 40 \quad S_1 = 5 \quad S_2 = 59$

b = 1 mm

c = 23,5 mm

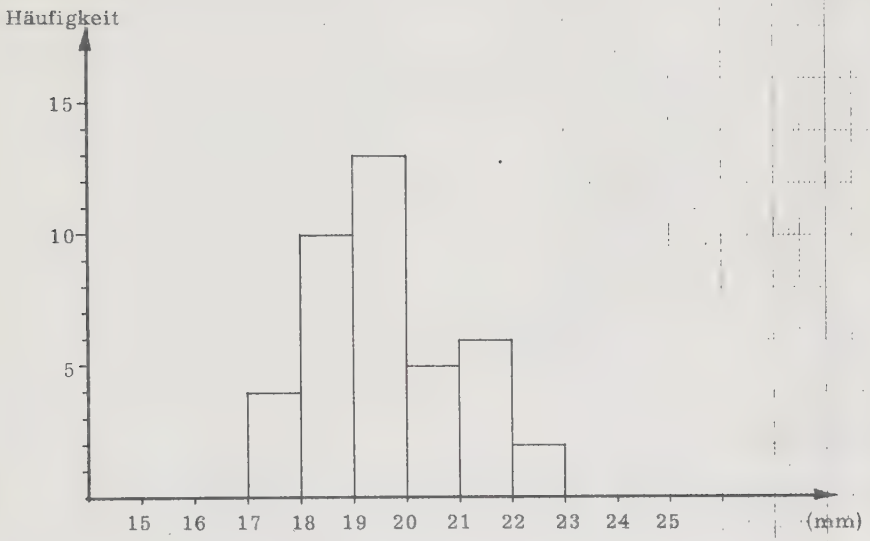
$\bar{a}$ = 23,63 mm

s^2 = 1,497 mm^2

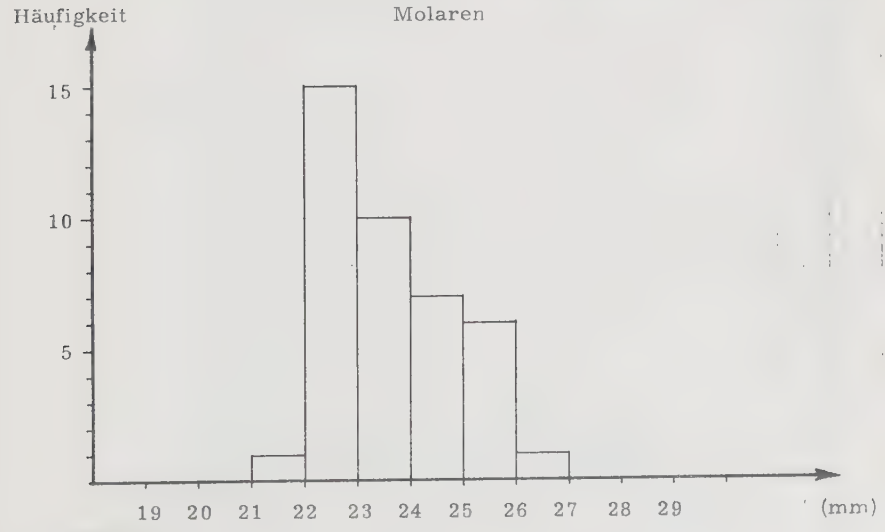
s = 1,224 mm

Darstellung der Häufigkeitsverteilungen der Meßreihen von Tag 15

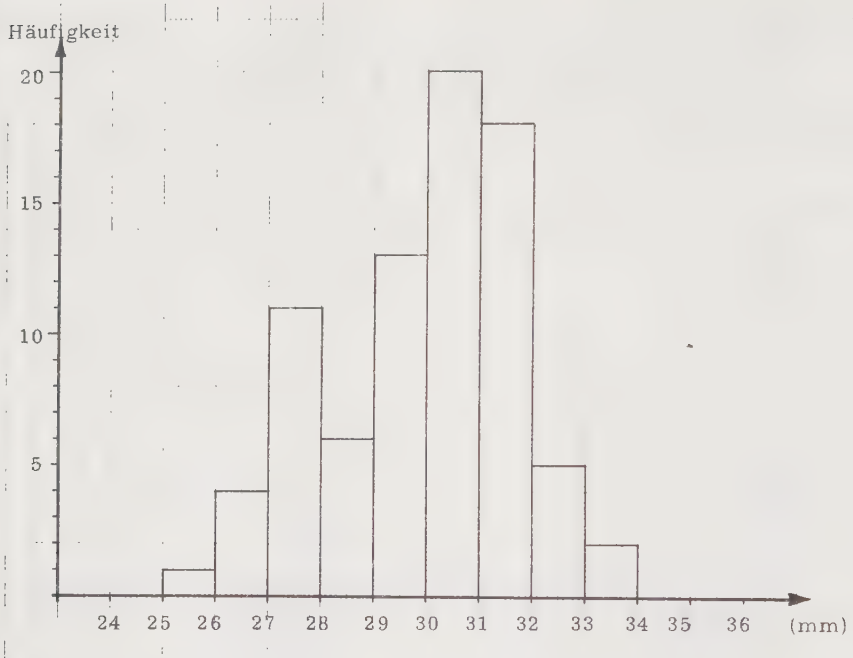
zu Tabelle VII: Abstand der buccalen Kanten der Incisivi



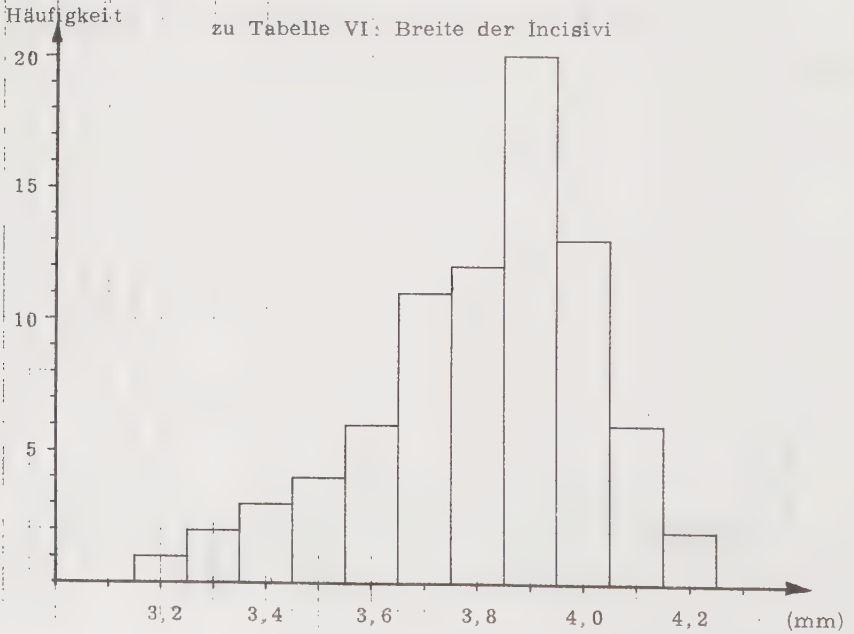
zu Tabelle VIII: Abstand der mesialen Kanten der ersten Molaren



zu Tabelle V: Länge der Incisivi



zu Tabelle VI: Breite der Incisivi



DISKUSSION

Bei der Beurteilung der Messungen, die an Röntgenbildern vorgenommen wurden, muß zunächst natürlich das Problem der Größenverfälschung durch projektionsbedingte Verzeichnungen diskutiert werden. Uns kam es jedoch in diesem Falle nicht darauf an, absolute Zahlen von hoher Genauigkeit zu gewinnen. Die quantitativen Verhältnisse lassen sich zweifellos im histologischen Bild oder sogar durch direkte Messungen viel genauer erfassen. Bei unserer Fragestellung war es dagegen wichtig, unter immer gleichen, reproduzierbaren Bedingungen die Aufnahmen durchzuführen, um vergleichbare Werte zu erlangen. Darüber hinaus muß der Verzeichnungsfaktor klein sein, da die Tiefe des untersuchten Objektes nur sehr gering ist. Die Höhe des Unterkieferpräparates von den verschiedenen Altersstufen schwankte im Durchschnitt zwischen 3 - 5 mm.
Außerdem hielten wir den Film-Objekt-Abstand so gering wie möglich - das Objekt wurde dem Film aufgelegt -, um somit eine annähernd gleich große Abzeichnung auf dem Film erhalten, zu können.

Im wesentlichen bestand der Zweck dieser Arbeit darin, eine Methode zu finden, die es ermöglicht, das Wachstum

des Zahnes, besonders der Hartsubstanz, ohne histologische Aufarbeitung zu erfassen. Wir versuchten deshalb, das Verhalten der Hartsubstanz in den Anfangsstadien der Entwicklung mit röntgenologischer Methode darzustellen. Nach den vorliegenden Befunden kann dieser Versuch mit einigen Einschränkungen als gelungen betrachtet werden.

Die Einschränkungen betreffen einmal den Beginn der Entwicklung und zum anderen die Besonderheiten bei der Zahnentwicklung bei der Ratte.

Zweifellos klafft zwischen der ersten röntgenologisch sicher auswertbaren Zahndarstellung und den histologisch, besonders elektronenmikroskopisch faßbaren Einlagerungen von Kalksalzen eine deutliche Lücke. Sie beträgt bei dem von uns benutzten Rattenstamm etwa 5 Tage. Während elektronenmikroskopisch schon am Tag 20 die ersten Einlagerungen von Apatitkristallen sichtbar werden, sind auf dem Röntgenbild sichere Zahnkonturen der Incisivi des Unterkiefers erst ab dem zweiten postnatalen Tag nachzuweisen (NOVAK und MERKER 1970; ZIMNY 1970). Ähnliches fand LENZ bei seinen Untersuchungen an menschlichem Material (1960, 1961, 1963 und 1964).

Bei der von uns gewählten Aufnahmetechnik kommt es jedoch zu einer Projektion auf den Knochen, wodurch die

Konturen des anfänglich sehr schwachen Zahnkontrastes möglicherweise nicht mehr sicher zu verfolgen sind. Da wir aber bemüht waren, eine möglichst einfache und gut reproduzierbare Technik zu entwickeln, vermieden wir eine Isolierung der Zahnkeime, die wahrscheinlich bessere Ergebnisse in diesem frühen Stadium gebracht hätte. So aber gelingt es erst einige Tage später, eine sichere Messung der Zahnhartsubstanz durchzuführen. Gleichzeitig hat man aber den Vorteil, daß die Knochenverhältnisse mitberücksichtigt werden können.

Die zweite Einschränkung betrifft die Probleme bei der Suche nach quantitativen Parametern, die eine möglichst vielseitige Erfassung des Zahnwachstums erlauben. Bei unseren Befunden stellt sich deutlich heraus, daß die Breite des Unterkiefers, die Entfernung der Zähne voneinander und die Breite der Zähne nicht deutlich verändert werden. Gleichzeitig kommt es aber zu einem deutlichen, nach Durchbruch des Zahnes auch makroskopisch sichtbaren Längenwachstum der Zähne. Diese Befunde bestätigen bereits bekannte makroskopische und mikroskopische Untersuchungen über das Schädelwachstum (VEIT 1916; KEITH 1922; MORTIMER 1937; SCOTT 1954; SELMAN und SARNAT 1955; ERICKSON 1958; SARNAT 1963; ENLOW 1966; HONG et al. 1968). Die Breite ist bei der Geburt annähernd erreicht, und es findet post-

natal vorwiegend eine rostrale Streckung statt, d. h. ein Schnauzenwachstum. Vorwiegend geht die Hartsubstanzbildung über ein appositionelles Wachstum vor sich. Dieses Verhalten ist aber für den Messenden ziemlich enttäuschend. Er kann zur Erfassung des Zahnwachstums theoretisch nur drei Parameter mit einiger Aussicht auf Erfolg verwenden:

1. die zunehmende Verdichtung der Hartsubstanz durch die weiterlaufende Mineralisation
2. die Einengung des Pulpencavums durch appositionelles Wachstum
3. das Längenwachstum.

Da aber die Werte für die Punkte 1 und 2 nur schlecht meßbar sind, bleibt als einziger Parameter, der sich signifikant mit der Zeit ändert, die Länge der Incisivi.

Zweifellos könnten aus der Dichte der Zahnhartsubstanz auch Rückschlüsse auf die Entwicklung gezogen werden. Die exakte densitometrische Erfassung dieser Werte würde aber sowohl eine genaue Isolierung der Zahnanlagen und eine sehr genaue Technik mit hohem Eichungsgrad erfordern. Beide Forderungen erschienen uns aber in Hinblick auf unsere besondere Fragestellung (s. o.) zu aufwendig.

Genaue Messungen an den ersten und zweiten Molaren durchzuführen, ist aus denselben Gründen nicht möglich. Dazu fällt der Punkt 3, das Längenwachstum, als Parameter fort. Der

dritte Molar entwickelt sich erst später, so daß er bei unseren Untersuchungen nicht voll erfaßt wird.

Trotz dieser Einschränkungen bilden die ermittelten Zeit- und Streckenwerte eine gute Grundlage zum Studium von Zahnentwicklungsstörungen bei der Ratte. Mit der von uns angewandten einfachen, aber deshalb auch gut reproduzierbaren Röntgenaufnahmetechnik kann doch eine erste Orientierung vorgenommen werden. Das fixierte Material kann dann bei vorliegenden pathologischen Befunden noch weiter licht- oder elektronenmikroskopisch bearbeitet werden. Es wird dadurch möglich, große Mengen von Embryonen zu beurteilen und auch statistisch zu erfassen.

Als besonders günstig erwies sich zur Darstellung der Zahnanlagen der Tag 15 der postnatalen Entwicklung. Dafür sprechen folgende Gründe:

1. Zu diesem Zeitpunkt sind die Konturen der Incisivi sehr klar zu erfassen.
2. Die Kronen der Molaren können ebenfalls bereits zur Beurteilung herangezogen werden.
3. Dieser Termin liegt relativ früh.

Bei experimentellen Untersuchungen der Zahnentwicklungsstörungen wird deshalb nicht allzuviel Zeit verloren.

Die Ergebnisse bestätigen den sehr späten Beginn der Zahnmineralisation bei der Ratte, die früh, also als extremer Nesthocker zur Welt kommt. Versuche, diese Entwicklung zu stören, haben also erst frühestens vom pränatalen Tag 20 Aussicht auf Erfolg. Effektiv dürften Versuche nach der Geburt sein. Die sogenannte kritische oder sensible Phase liegt also im Vergleich zu den Entwicklungsstörungen bei anderen Organen sehr spät.

ZUSAMMENFASSUNG

Es wurden Ratten der Tage 1 - 21 nach der Geburt aus einem eigenen Inzuchtstamm, gezüchtet aus einem Wistar-Stamm (FW 68) durch Dekapitation getötet und in Formalin fixiert. Von den herauspräparierten Unterkiefern wurden Röntgenaufnahmen mit einer Siemens-Pantix-Ölröhre bei einem Film-Fokus-Abstand von 50 cm auf folienlosen Zahnfilmen hergestellt. Die Röntgenbilder wurden auf positiven Papierabzügen viermal nachvergrößert und ausgewertet. Als Meßlinie wurde an den mesialen Kanten der ersten Molaren eine Verbindungslinie gezogen. An dieser Linie wurde die Breite, die Länge und der buccale Abstand der Incisivi sowie der Abstand der mesialen Kanten der ersten Molaren gemessen.

Auf den Bildern des ersten Tages sind die Knochenkrypten der Incisivi und der ersten und zweiten Molaren schattenhaft zu erkennen. Vom zweiten Tag an sind Hartsubstanzablagerungen bei den Incisivi, vom vierten Tag an deutlich die Verkalkungszentren der ersten Molaren und vom sechsten Tag an die Verkalkungszentren der zweiten Molaren abgezeichnet. Im Verlauf der weiteren Untersuchungen findet man hauptsächlich ein appositionelles Wachstum. Bei den Incisivi ist außerdem ein deutliches Längenwachstum zu beobachten. Am

Tag 11 erscheint das Kronenwachstum des ersten Molaren, am Tag 14 das des zweiten Molaren abgeschlossen. Der dritte Molar entwickelt sich später. Erst am Tag 19 sind hier Verkalkungszentren schwach zu erkennen. Die Incisivi liegen bei dieser Projektion lingual der Molarenkeime. Im distalen Bereich verläuft die Zahnhartsubstanz der Keime so fein, daß das genaue Ende nicht auszumachen ist.

Bei der kurvenmäßigen Auftragung der Meßwerte ergab sich keine deutliche Breitenzunahme des Unterkiefers. Dagegen ist eine deutlich meßbare Zunahme der Länge der Keime zu vermerken.

Bei den Untersuchungen sollte eine Aufnahmetechnik gefunden werden, die leicht reproduzierbar ist und ohne großen vorbereitenden Aufwand durchgeführt werden kann. Insbesondere sollte das Wachstum des Zahnes, speziell der Zahnhartsubstanz ohne histologische Aufarbeitung erfaßt werden.

Mit einigen Einschränkungen kann man diese Methode zur Beurteilung der Entwicklung heranziehen. Diese Einschränkungen sind zum ersten die spätere Erfassung der Hartsubstanz gegenüber licht- oder elektronenmikroskopischen Untersuchungen und zum zweiten die geringe Zahl der sicher auswertbaren Parameter.

LITERATUR

APPLEBAUM, E.; F. HOLLANDER und C. F. BÖDECKER
Normal and pathological variations in calcification of teeth as shown by the use of soft x-rays
Dent. Cosmos., 75, 1097-1105, 1933

BALDUS, A.
Elektronenmikroskopische Untersuchungen über die frühesten Differenzierungsphasen der Zahnleiste bei der Ratte
Dissertation an der FU Berlin 1969

BURR, E. G. und H. MORTIMER
A cranial radiographic technic in the living rat
Radiology, 31, 162-169, 1938

DECKER, K.
Röntgenaufnahmen von Präparaten foetaler Schädel
Acta radiologica, März 1963

DONALDSON, H.
The rat: Data and reference tables for the albino rat and the norway rat. Memoirs of Wistar Institute of Anatomy and Biology
Philadelphia, 1924, No. 6, 2nd edition

EIDMANN, H.
Entwicklungsgeschichte der Zähne
Berlin 1923

ENLOW, D. H.
A morphogenetic analysis of facial growth
Amer. J. Orthodont., 52, 285-299, 1966

ERICKSON, L. C. und A. L. OGILVIE
Aspects of growth in the cranium, mandible and teeth of the rabbit as revealed through the use of alizarin and metallic implants.
Angle Orthodont., 28, 47-56, 1958

FARRIES, J. F. und J. Q. GRIFFITH
The rat in laboratory investigation
2. Ed. Lippincott, Philadelphia-London-Montreal

GLASSTONE, S.
A comparative study of the development in vivo and in vitro of rat and rabbit molars
Proc. Roy. Soc. (London), 126, 315, 1938

HAGEMANN, E. und G. SCHMIDT
Ratte und Maus, Versuchstiere in der Forschung
Walter de Gruyter & Co., Berlin 1960

HOFFMAN, M. U. und J. SCHOUR — Quantitative studies in the development of the rat molar. I. The growth pattern of the primary and secondary dentin (from birth to 500 days of age) Anat. Rec., 78, 233-251, 1940

HOFFMAN, M. U. und J. SCHOUR — Quantitative studies in the development of the rat molar II. Alveolar bone, cementum and eruption (from birth to 500 days of age) Amer. J. Orthodontics Oral Surg., 26, 854, 1940

HONG, Y. C.; P. K.-J. YEN und J. H. SHAW — An Analysis of the growth of the cranial vault in rabbits by vital staining with lead acetate Calc. Tiss. Res., 2, 271-285, 1968

KEIBEL, F. — Normentafel zur Entwicklungsgeschichte, Rattus norwegicus G. Fischer Verlag, Jena, 1937

KEITH, Sir A. et al. — A contribuation to the mechanism of growth of the human face Dental Record, London, 42, 61, 1922

KIRSCH, T. H. — Röntgenologische Studie am fetalen Unterkiefer Dtsch. Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, 23, Heft 5 u. 6, 1955

KÖNIG, K. G. — Möglichkeiten der Kariesprophylaxe beim Menschen und ihre Untersuchung im kurzfristigen Rattenexperiment. Verlag Hans Huber, Bern, Stuttgart, 1966

LECHE, W. — Studien über die Entwicklung des Zahnsystems bei den Säugetieren Morphol. Jb., 119, 1892

LENZ, H. — Elektronenmikroskopische Untersuchungen der Dentinentwicklung Dtsch. Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, 30, 367-381

LENZ, H. — Entwicklung der Zahnhartsubstanzen (elektronenmikroskopisch) in: Harn isch/Gabka: Handlexikon der zahnärztlichen Praxis, S. 205-213 Medica-Verlag, Stuttgart, 1960

LENZ, H. — Die Bildung der organischen Matrix des Schmelzes 4. Internationaler Kongress für Elektronenmikroskopie, Bd II, Biologie und Medizin, S. 351-353, 1960

LENZ, H. — Elektronenmikroskopische Untersuchungen der Mineralisation des Zahnschmelzes und der beginnenden Schmelzkaries
Arch. of Oral Biol., 4, 34-39, 1961

LENZ, H. — Mineralization centers in early dental calculus by light and electron microscopy
Helv. Odont. Acta, 7, 67-75, 1963

LENZ, H. — Microstructures and mineralization of early dental calculus
Helv. Odont. Acta, 8, 1-16, 1964

MANNKOPF, H. — Röntgenstudien über das normale und gestörte Milchzahn- und Skelettwachstum bei Frühgeborenen und Säuglingen
Habilitationsschrift, Greifswald, 1957

McCALL, J.O. und S.S. WALD — Handbuch der klinischen dentalen Röntgenologie
Medica-Verlag, Stuttgart, Zürich, 1954

MELLANBY, H. — The development of teeth in the albino rat
Brit. Dent. J., 66, 76-86, 1939

MEYER, W. — Das Tiefenwachstum des Epithels bei der Entstehung der Zahnkeime
In: Deutsche Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, 5, 369-375, 1938

MEYER, W. — Normale Histologie und Entwicklungsgeschichte der Zähne der Menschen
Karl Hanser Verlag, München, 1951

MEYER, W. — Die Zahnentwicklung
In: Die Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (Hrsg. Häupl, Schuchardt und Meyer), Urban und Schwarzenberg Verlag, München, Berlin, 307-346, 1958

MORTIMER, H. — Pituitary and associated hormone factors in cranial growth and differentation in the white rat. A roentgenological study
Radiology, 28, 5-39, 1937

MUGNIER, A. — Embryologie et Développement buccofacial
Julien Prélat, Paris, 1964

NOVAK, L. und H.J. MERKER — Störungen der Zahnentwicklung bei Rattenembryonen nach Gaben von 6-Aminonicotinamid
Experientia, in Druck

NOVAK, L. und H. J. MERKER — unveröffentlichte Befunde

ORBAN, B. — Entwicklungsgeschichte und Histogenese
In: Die Fortschritte der Zahnheilkunde
Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1927

ORBAN, B. — Oral histology and embryology
Amer. Dent. Ass., 15, 1004, 1928

ORBAN, B. — Entwicklungsgeschichte und Histogenese
In: Die Fortschritte der Zahnheilkunde
Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1929

PLACKOWA, A. — Beitrag zum Studium der Zahnleiste und der Vorhofsleiste beim Menschen
Dtsch. Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
39, 265-272, 1963

SARNAT, B. G. — Postnatal growth of the upper face: Some experimental considerations
Angle. Orthodont., 33, 139-161, 1963

SELMAN, A. J. und B. J. SARNAT — Sutural bone growth of the rabbit snout: A gross and serial roentgenographic study by means of metallic implants
Amer. J. Anat., 97, 395-408, 1955

SCOTT, J. H. — The growth of the human face
Proc. Roy. Soc. Med., 47, 91-100, 1954

SPENCE, J. M. — Method of studying the skull development of the living rat by serial cephalometric roentgenograms
Angle. Orthodont., 10, 127-139, 1940

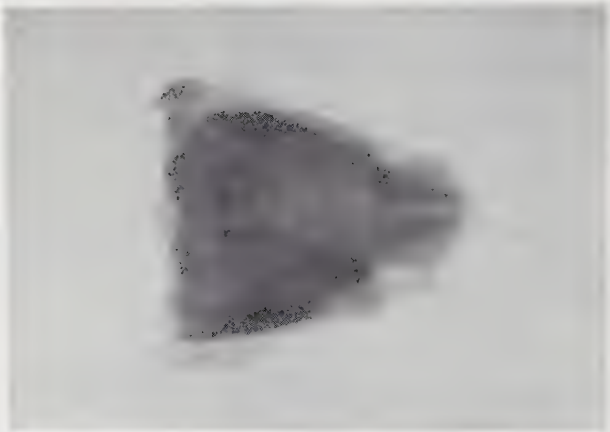
STARCK, D. — Embryologie
Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1965

VEIT, O. — Zur Theorie des Wirbelkopfes
Anat. Anz., 49, 1-42, 1916

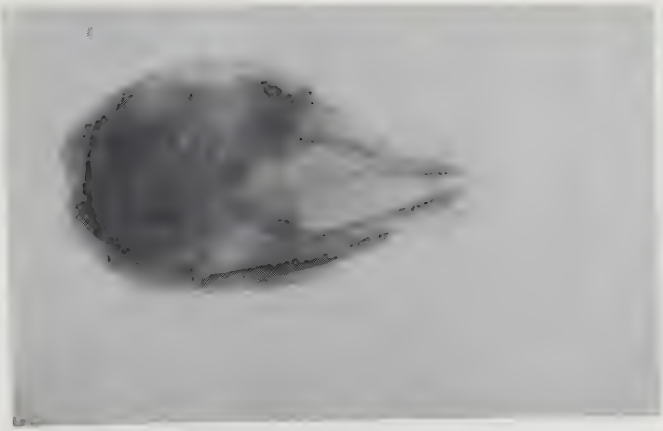
ZIMNY, F. — Die normale Zahnentwicklung bei der Ratte
Vorgesehen als Dissertation an der FU Berlin

Bildanhang

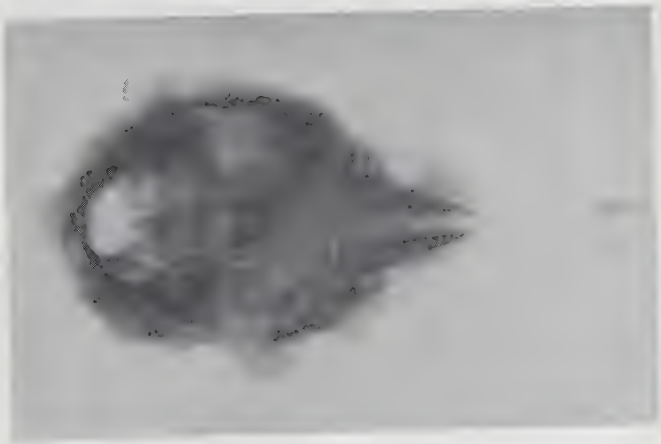
Tag 1



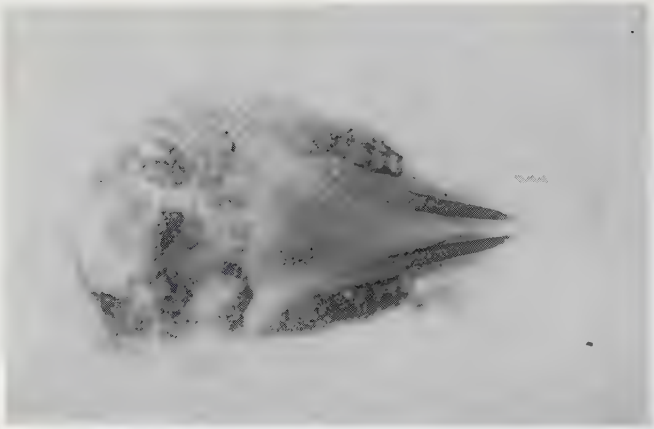
Tag 4



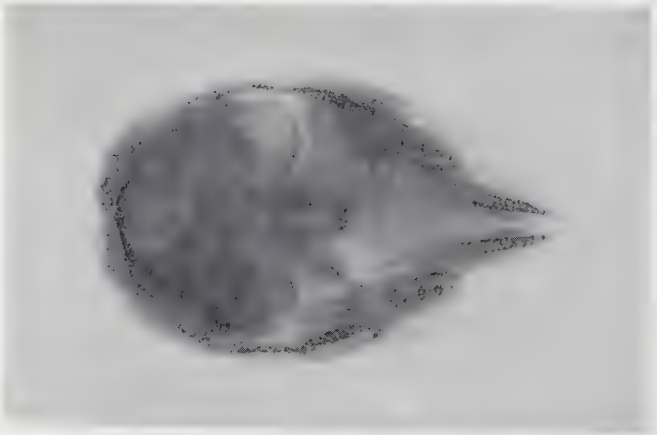
Tag 6



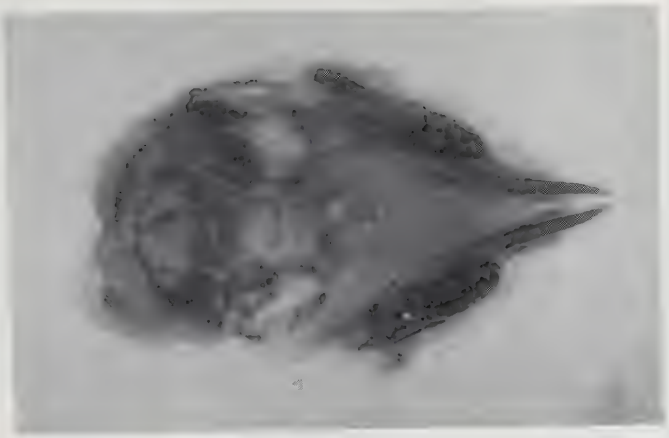
Tag 6



Tag 11

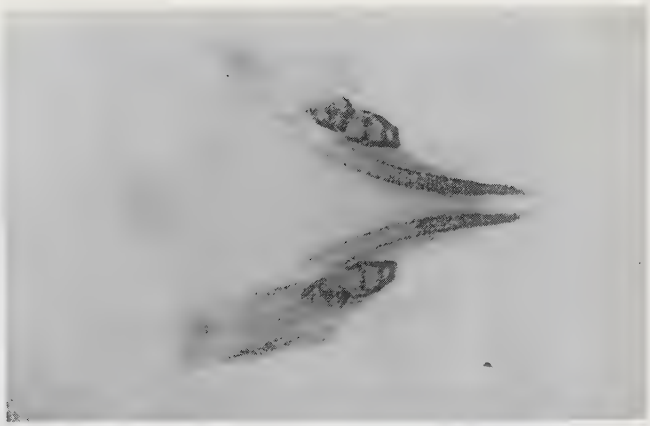


Tag 13

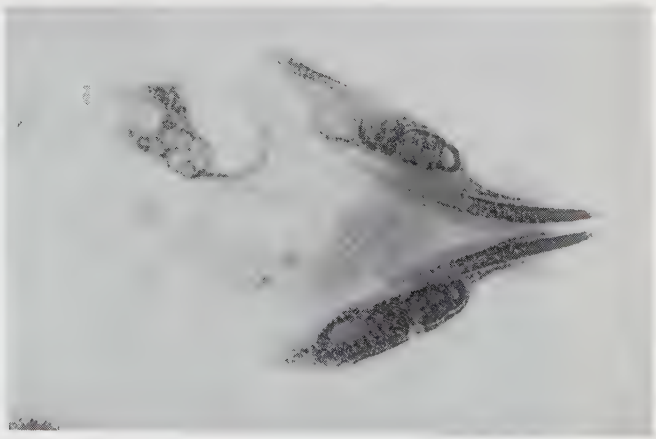


Tag 14

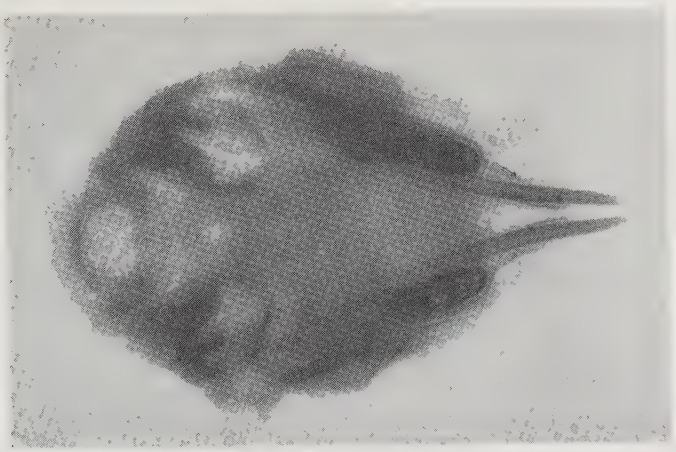
Tag 15



Tag 17



Tag 19



Tag 21

Herrn Professor Dr. med. H. J. Merker danke ich herzlich für die Überlassung des Themas und die freundliche Hilfe bei der Durchführung dieser Arbeit.

Lebenslauf

Am 26.2.1943 wurde ich als zweites Kind des Dipl.-Ing. Dr.-Ing. Georg Weddige und seiner Ehefrau Edeltraut geb. Kleinberg in Dinslaken geboren.

Im Frühjahr 1949 wurde ich in die Overbergschule Dinslaken eingeschult und besuchte von 1953-1963 das Neusprachliche Mädchengymnasium des Landkreises Dinslaken.

Nach dem Abitur wurde ich an der Medizinischen Fakultät, Fachrichtung Zahnmedizin, der Philipps-Universität Marburg immatrikuliert und bestand dort im Herbst 1965 die zahnärztliche Vorprüfung.
Zum Sommersemester 1966 wechselte ich zur Freien Universität Berlin über und legte im Juli 1968 das zahnärztliche Staatsexamen ab.

Bis April 1969 war ich als Assistentin in einer zahnärztlichen Praxis in Berlin angestellt.
Seit Mai 1969 bin ich im Rahmen meiner kieferorthopädischen Fachzahnarztausbildung an der Poliklinik und Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der Freien Universität Berlin, Abteilung Kieferorthopädie als wissenschaftliche Assistentin tätig.

Barbara Weddige-Kleinberg